

鋼繊維を混入した超高強度コンクリートの力学特性

大成建設 生産技術開発部 正会員 ○川口 哲生
大成建設 生産技術開発部 正会員 武田 均

1. はじめに

粗骨材を混入した繊維補強コンクリートにおいて、100N/mm²程度の強度を有する鋼繊維補強コンクリートの力学特性に関する検討はなされているものの、必ずしも十分とは言えない。これは、水セメント比を低くすることで粘性が高くなることに加え、繊維の混入により流動性が低下して、良好な施工性を有する繊維補強コンクリートの実現が難しいためと考えられる。これまでに、筆者らは良好な施工性の付与が可能な超高強度コンクリート用結合材を開発しており、本研究では、本結合材を用いた繊維補強コンクリートの力学特性におよぼす鋼繊維の種類と混入量が及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合条件

表-1 に使用材料を示す。結合材は超高強度コンクリート用結合材を用いた。表-2 に鋼繊維の諸特性、図-1 に鋼繊維の形状を示す。鋼繊維は国内で市販されているものであり、波型繊維（以降、波型と表記）とフック型繊維を対象とした。フック型繊維では、両端フックを2回折り曲げて成型された繊維（以降、フック型1と表記）と、両端フックを3回折り曲げて成型された繊維（以降、フック型2と表記）を対象とした。

コンクリートの示方配合を表-3 に示す。流動性を確保しつつ、所定の圧縮強度が得られる様に、水結合材比を18%、細骨材率を60%とした。また、施工性を考慮してスランプフロー(JIS A 1150)が800±100mmとなるように高性能減水剤の添加量を設定した。表-4 に繊維混入率を示す。所定のスランプフローを確保しつつ、ファイバーボールが形成されないように繊維混入率を定めた結果、波型とフック型1では1.0及び2.0vol.%、フック型2では1.0及び1.5vol.%とした。

2.2 コンクリートの練混ぜ方法と強度試験方法

コンクリートの練混ぜは、螺旋アーム式二軸強制練りミキサー（公称容量60リットル）を用いて、図-2 に示す方法で練り混ぜた。

供試体は材齢1日で脱型し、材齢7日まで20℃の水中養生を行い試験に供した。圧縮強度試験はφ100×200mmの供試体を用いてJSCE-G 551に準拠して行った。また、φ100×110mmの供試体を用いて割裂引張試験(JIS A 1113)を行い、マトリクスにひび割れが発生する強度をひび割れ発生強度とした。曲げ強度と曲げじん性係数の測定では100×100×400mmの角柱供試体を用いてJSCE-G 552に準拠して行った。

3. 実験結果と考察

(1) スランプフローに関する結果と考察

表-4 にスランプフローの結果を示す。短繊維を混入していない水準と比較すると、最もスランプフローのキーワード 超高強度コンクリート、鋼繊維補強、曲げ強度、曲げじん性係数

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター TEL045-814-7219

表-1 使用材料

種類	記号	各材料の種類および物性
水	W	水道水
結合材	B	超高強度コンクリート用結合材 密度 3.02g/cm ³ , デイ・シイ社製
細骨材	S	川砂, 表乾密度:2.63, 粗粒率:1.12
粗骨材	G	川砂利, 最大骨材寸法:15mm 表乾密度 2.66, 粗粒率:6.18
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-2 鋼繊維の諸特性

名称	繊維径 (mm)	繊維長さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)
波型	0.80	30	1000
フック型1	0.62	30	1270
フック型2	0.55	35	1850

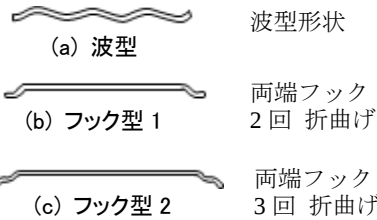


図-1 鋼繊維の形状

表-3 コンクリートの示方配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	B	S	G	SP
18	60	190	1118	693	462	13.4

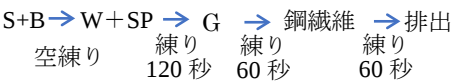


図-2 練混ぜ方法

小さかったフック型2を1.5vol.%混入した場合でも、スランプフローは740mmであり、良好な流動性が得られる結果となった。

(2) 圧縮強度に関する結果と考察

表-4 に示す様に、圧縮強度は 102～111N/mm²の範囲で概ね一定であり、短繊維の混入は圧縮強度に大きな影響を及ぼさないことがわかる。

(3) ひび割れ発生強度に関する結果と考察

図-3 にひび割れ発生強度と繊維混入率の関係を示す。波型を混入した水準では繊維混入率増大に伴い、ひび割れ発生強度が増加した。これは、鋼繊維とマトリクスの付着が高く、ひび割れ発生前から鋼繊維が引張力を負担したためと考えられるが、更なる検討が必要と考える。

(4) 曲げ強度と曲げじん性係数に関する結果と考察

曲げ強度の計測を行った後、試験体の破断面について、目視観察を行ったが、鋼繊維は概ね均一に分散していることと、鋼繊維は破断していないことが確認された。

図-4 に荷重とたわみの関係を示すが、繊維種類と混入量によっては、最大荷重や最大荷重以降の挙動が大きく異なり、特にフック型2を混入することで大きく変化した。波型とフック型1を比較すると、最大荷重は概ね同等となったが、最大荷重以降の挙動は大きく異なった。しかし、繊維混入率を2.0vol.%とすると、荷重-たわみ曲線は類似した傾向を示すことがわかった。

図-5 に曲げ強度と繊維混入率の関係を示す。繊維混入率の増大に伴って曲げ強度が増加するものの、繊維混入率が1.0vol.%の波型とフック型1の曲げ強度は、繊維補強を行っていない水準の曲げ強度に対して、僅かな増加に留まった。しかし、フック型2を混入すると、大幅に曲げ強度が増加し、最大で21.5N/mm²となった。さらに、図-6 に示す様に、フック型2を混入することで、他の鋼繊維よりも曲げ靱性係数が大幅に向上することがわかった。ここで、波型、フック型1を2.0vol.%混入した場合とフック型2を1.5vol.%混入した場合に混入されている鋼繊維の本数に着目し、各繊維の寸法を考慮すると、フック型2を1.5vol.%混入した場合に混入されている繊維の本数が最も多いと考えられる。さらにフック型2の引張強度が最も高いことから、フック型2の曲げ強度と曲げじん性が大幅に上昇したと考えられる。

4. まとめ

新規に開発した超高強度コンクリート用結合材を用いた鋼繊維補強コンクリートの力学特性に及ぼす鋼繊維の影響を把握した。鋼繊維の混入量では高い流動性が得られ、曲げ強度と曲げじん性の向上が確認され、特にフック型2では、その効果が極めて高いことがわかった。

参考文献 1)佐々木ほか：高強度コンクリートの力学特性に与える鋼繊維の影響，コンクリート工学年次論文集，pp. 277-282，vol.35，No.1，2013。

表-4 試験結果一覧

No.	鋼繊維		スランプフロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げじん性係数 (N/mm)
	種類	混入率 (vol.%)					
1	なし	0.0	805	106	7.54	8.61	0.26
2	波型	1.0	845	111	7.85	9.44	4.41
3	波型	2.0	795	107	8.15	12.3	10.0
4	フック型1	1.0	810	103	7.41	9.69	8.13
5	フック型1	2.0	780	103	7.41	13.2	10.7
6	フック型2	1.0	795	108	7.55	16.8	13.0
7	フック型2	1.5	740	109	7.56	21.5	16.7

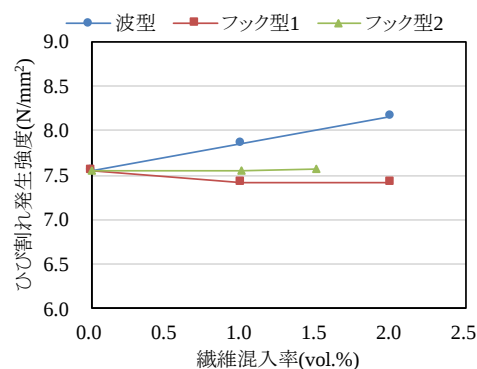


図-3 ひび割れ発生強度と繊維混入率の関係

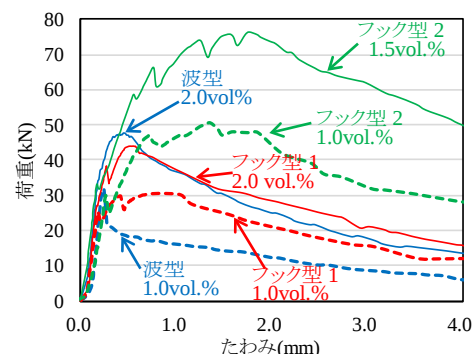


図-4 荷重とたわみの関係

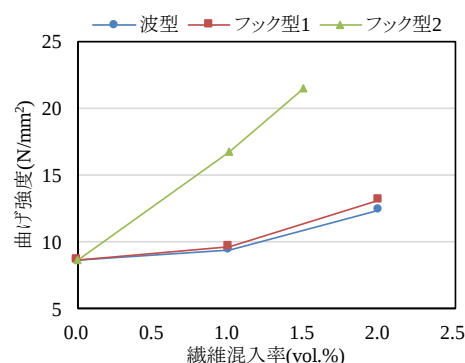


図-5 曲げ強度と繊維混入率の関係

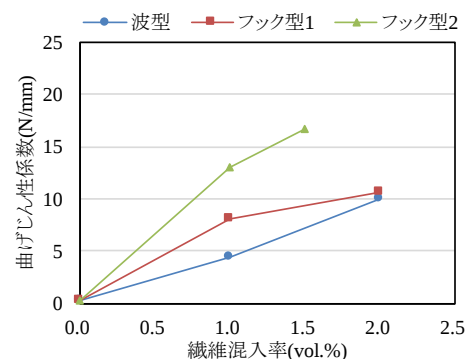


図-6 曲げじん性係数と繊維混入率の関係